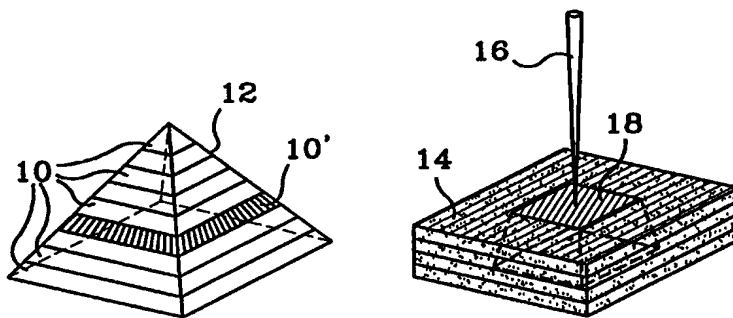


DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁶ : C04B 35/64, 41/00, B23K 26/00, B22F 3/105	A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 99/42421 (43) Date de publication internationale: 26 août 1999 (26.08.99)
(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR99/00357 (22) Date de dépôt international: 17 février 1999 (17.02.99) (30) Données relatives à la priorité: 98/02217 19 février 1998 (19.02.98) FR (71)(72) Déposants et inventeurs: HORY, Arnaud [FR/FR]; 14, rue le Sueur, F-87000 Limoges (FR). GAILLARD, Jean-Marie [FR/FR]; 29 ter, rue du 19 mars 1962, F-87100 Limoges (FR). (72) Inventeur; et (75) Inventeur/Déposant (US seulement): ABELARD, Pierre [FR/FR]; 15, rue de l'Université, F-87100 Limoges (FR). (74) Mandataire: POUCHUCQ, Bernard; Cabinet Thébault, 111, cours du Médoc, F-33300 Bordeaux (FR).		(81) Etats désignés: JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Publiée <i>Avec rapport de recherche internationale. Avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues.</i>

(54) Title: FAST PROTOTYPING METHOD BY LASER SINTERING OF POWDER AND RELATED DEVICE**(54) Titre:** PROCEDE DE PROTOTYPAGE RAPIDE PAR FRITTAGE LASER DE POUDRE ET DISPOSITIF ASSOCIE**(57) Abstract**

The invention concerns a fast prototyping method by solid phase sintering, using a laser, of a powder or a mixture of powders, in particular ceramic. The invention is characterised in that it comprises steps which consist in obtaining a succession of superposed digitised sections (10) of an object (12) to be produced, from a three-dimensional representation of said object; then in spreading in the form of a fine layer (14) the powder or mixture of powders heated to a temperature close to solid phase sintering temperature of said powder or mixture of powders; and finally in bringing the layer (14) to the sintering temperature by scanning with a laser beam (16) said layer such that a selected part



(18) of the powder, corresponding to one of the digitised sections (10') of the object (12) to be produced, is sintered in solid phase by the additional energy supplied by the laser, the last two steps being repeated until all the digitised superposed sections of the object to be produced are obtained. The invention also concerns the associated device.

(57) Abrégé

L'objet de l'invention est un procédé de prototypage rapide par frittage en phase solide, à l'aide d'un laser, d'une poudre ou d'un mélange de poudres, notamment céramique, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes qui consistent à obtenir une succession de sections (10) superposées numérisées d'un objet (12) à réaliser, à partir d'une représentation en trois dimensions dudit objet, puis à étaler sous forme d'une fine couche (14) la poudre ou le mélange de poudres chauffé à une température proche de la température de frittage en phase solide de ladite poudre ou dudit mélange de poudres, et enfin à porter la couche (14) à la température de frittage en balayant à l'aide d'un faisceau laser (16) ladite couche de telle manière qu'une partie (18) sélectionnée de la poudre, qui correspond à une des sections (10') numérisées de l'objet (12) à réaliser, est frittée en phase solide grâce à l'apport complémentaire d'énergie du laser, les deux dernières étapes étant répétées jusqu'à l'obtention de toutes les sections superposées numérisées de l'objet à réaliser. L'invention concerne aussi le dispositif associé.

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce		de Macédoine	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	ML	Mali	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MN	Mongolie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MR	Mauritanie	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MW	Malawi	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	MX	Mexique	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NE	Niger	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NL	Pays-Bas	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NO	Norvège	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	NZ	Nouvelle-Zélande		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PL	Pologne		
CN	Chine	KZ	Kazakhstan	PT	Portugal		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RO	Roumanie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	RU	Fédération de Russie		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SD	Soudan		
DK	Danemark	LR	Libéria	SE	Suède		
EE	Estonie			SG	Singapour		

PROCEDE DE PROTOTYPAGE RAPIDE PAR FRITTAGE LASER DE POUDRE ET DISPOSITIF ASSOCIE

La présente invention a pour objet un procédé de prototypage rapide par frittage de poudre, notamment de poudre céramique, et un dispositif pour la mise en oeuvre dudit procédé.

5 Le prototypage rapide est un procédé qui permet d'obtenir des pièces de formes complexes sans outillage et sans usinage, à partir d'une image en trois dimensions de la pièce à réaliser, en frittant des couches superposées de poudres à l'aide d'un laser.

Un premier procédé de prototypage par frittage laser de poudre est
10 décrit dans la demande de brevet internationale WO 96/06881. Il permet notamment d'obtenir des pièces en polymère en frittant en phase liquide des poudres de polymères. Dans ce cas, le niveau de température généré par le laser est relativement faible car les températures de fusion des polymères sont peu élevées, de l'ordre d'une centaine de degrés.

15 Afin d'obtenir des pièces en matériau plus résistant, il est nécessaire, dans ce cas, d'utiliser un procédé de moulage dit à cire perdue.

Ce procédé de réalisation de pièce résistante est long, et on obtient une précision dimensionnelle relativement médiocre pour certaines applications. En effet, les nombreuses dispersions engendrées par les différents procédés ne
20 permettent pas d'obtenir des dimensions précises, de l'ordre de $\pm 50 \mu\text{m}$.

Un deuxième procédé consiste à fritter en phase liquide un mélange de matériaux en poudre, un des matériaux ayant une température de fusion

relativement faible, de l'ordre de quelques centaines de degrés. Là encore, le niveau de température généré par le laser est relativement faible en raison de la température de fusion peu élevée d'un des matériaux. On peut noter que le phénomène communément appelé frittage est un frittage en phase liquide et qu'il s'apparente plus à un collage de grains, le matériau à température de fusion peu élevée étant utilisé comme liant. Dans ce cas, la pièce obtenue n'est pas homogène et la précision dimensionnelle est relativement médiocre. En effet, le critère de précision dimensionnelle n'est pas essentiel dans ce cas car l'opérateur peut aisément rectifier par usinage les cotes des pièces ainsi obtenues.

Un autre procédé de prototypage rapide, décrit dans le brevet US-5.182.170, consiste à faire réagir un matériau en poudre, disposé en couches successives, avec un gaz, en chauffant à l'aide d'un laser. Ainsi, on peut obtenir des pièces à partir de certaines céramiques très résistantes grâce à des réactions chimiques du type nitruration ou cémentation. Mais ce procédé ne peut pas s'appliquer à toutes les céramiques.

Comme on peut le constater, les procédés de l'art antérieur ne permettent pas d'obtenir des pièces homogènes réalisées à partir de poudres céramiques frittées car les températures de fusion des céramiques sont trop élevées.

Les dispositifs associés à ces procédés comprennent en général une cible où sont disposées successivement les couches de poudres frittées, des moyens de mise en couche de la poudre, ainsi que des moyens pour piloter le tir du laser. La pièce réalisée est disposée sur la surface supérieure d'un piston qui peut se translater dans un cylindre dont l'extrémité supérieure constitue la cible.

Ces dispositifs sont en général utilisés à des températures peu élevées et ne permettent pas d'obtenir des pièces de dimensions précises.

Or pour la réalisation de pièces en céramiques, la précision dimensionnelle est un critère essentiel car la rectification des cotes obtenues à l'issue du procédé n'est possible qu'à l'aide d'un outil en diamant, et reste

réservée à de simples interventions ponctuelles sans qu'il puisse être envisagé un usinage.

La présente invention vise donc à proposer un procédé de prototypage rapide par frittage laser de poudres quelconques, et notamment de poudres
5 céramiques.

Elle propose également le dispositif associé, susceptible d'être utilisé à des températures élevées, avoisinants 900°C, et qui permet d'obtenir par frittage laser de poudres une pièce de grande précision dimensionnelle de l'ordre de $\pm 50 \mu\text{m}$, c'est-à-dire la moitié de la précision obtenue par les
10 dispositifs de l'art antérieur.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de prototypage rapide par frittage en phase solide, à l'aide d'un laser, d'une poudre ou d'un mélange de poudres, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes qui consistent à :

1/ obtenir une succession de sections superposées numérisées d'un
15 objet à réaliser, à partir d'une image en trois dimensions dudit objet,

2/ étaler sous forme d'une fine couche la poudre ou le mélange de poudres chauffé à une température proche de la température de frittage en phase solide de ladite poudre ou dudit mélange de poudres,

3/ augmenter la densité de la poudre de la couche,

20 4/ Porter la couche à la température de frittage en balayant à l'aide d'un faisceau laser ladite couche de telle manière qu'une partie sélectionnée de la poudre, qui correspond à une des sections numérisées de l'objet à réaliser, est frittée en phase solide grâce à l'apport complémentaire d'énergie du laser,

les étapes 2, 3 et 4 étant répétées jusqu'à l'obtention de toutes les
25 sections superposées numérisées de l'objet à réaliser.

De préférence, la poudre ou le mélange de poudres est chauffé et maintenu à une température de l'ordre de 300°C à 900°C, et la couche est compactée mécaniquement afin d'augmenter sa densité.

Avantageusement, le laser utilisé est un laser YAG pulsé, et que la
30 longueur d'onde du rayonnement émis se situe dans les infrarouges courts.

L'invention a également pour objet un dispositif pour la mise en oeuvre dudit procédé caractérisé en ce qu'il comprend un laser équipé de moyens de

pilotage du tir asservis à une interface informatique, une cellule haute température, munie de moyens de chauffage et d'une cible pour un faisceau du laser, et des moyens de mise en couche, disposés dans ladite cellule, susceptibles de disposer sur la cible une couche de poudre.

5 Selon un mode de réalisation préféré, il comprend des moyens de compactage, disposés dans la cellule haute température, susceptibles de compacter la couche avant frittage.

D'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la description qui représente un mode de réalisation préféré, description donnée à titre
10 d'exemple uniquement, en référence aux dessins annexés sur lesquels:

- Figure 1 est un schéma de principe du procédé de l'invention,
- Figure 2 est une coupe longitudinale du dispositif selon l'invention,
- Figure 3 est une coupe transversale du dispositif, et
- Figures 4A à 4E montrent un synoptique du fonctionnement du
15 dispositif.

Selon l'invention, le procédé de prototypage rapide par frittage laser d'une poudre céramique ou d'un mélange de poudres céramiques comprend les étapes qui consistent à:

- 1/ obtenir une succession de sections 10 superposées numérisées d'un
20 objet 12 à réaliser, à partir d'une image en trois dimensions dudit objet,
- 2/ étaler sous forme d'une fine couche 14 la poudre céramique ou le mélange de poudres céramiques chauffé à une température proche de la température de frittage en phase solide de ladite poudre ou dudit mélange,
- 3/ augmenter la densité de la poudre de la couche 14,
- 25 4/ porter la couche à la température de frittage en balayant à l'aide d'un faisceau laser 16 ladite couche de telle manière qu'une partie 18 sélectionnée de la poudre, qui correspond à une des sections 10' numérisées de l'objet 12 à réaliser, est frittée en phase solide grâce à l'énergie du laser.

Les étapes 2, 3 et 4 sont répétées jusqu'à l'obtention de toutes les
30 sections superposées numérisées de l'objet à réaliser.

Ce procédé de prototypage rapide par frittage laser peut être utilisé pour le frittage d'une poudre ou d'un mélange de poudres céramiques quelconques.

Lors de l'étape 1, l'objet 12, représenté par une image numérisée en trois dimensions, est tranché à l'aide d'un logiciel afin d'obtenir une succession de sections 10 superposées numérisées.

Lors de l'étape 2, la poudre céramique ou le mélange de poudres
5 céramiques est étalé sous forme d'une fine couche 14 d'épaisseur de l'ordre de 200 μm . La poudre céramique ou le mélange de poudres céramiques est préalablement chauffé et maintenu à une température de 900°C durant le procédé afin d'augmenter la rapidité de réalisation de l'objet et de réduire l'énergie apportée par le laser 16 comme cela va être expliqué.

10 Lors de l'étape 3, on augmente la densité de la couche 14, afin de diminuer sa porosité, en la compactant par exemple. On obtient ainsi une couche 14 d'épaisseur de l'ordre de 100 μm .

Lors de l'étape 4, on réalise le frittage en phase solide d'une partie 18
15 sélectionnée de la couche 14 en dirigeant le rayon laser 16 afin qu'il reproduise une des sections superposées numérisées 10'. Selon le procédé, on utilise un frittage en phase solide, c'est-à-dire que la température de frittage reste inférieure à la température de fusion des poudres céramiques utilisées.

Ainsi, lors du frittage, dans un premier temps, des zones de
20 raccordement, appelées joints de grains se forment entre particules en contact, puis dans un second temps, la porosité résiduelle entre grains disparaît grâce aux phénomènes de diffusion et d'écoulement plastique. Ce frittage est d'autant plus rapide que la poudre frittée est préalablement compactée et chauffée.

Ainsi, en chauffant la poudre, l'énergie du laser ne sert qu'à apporter la
25 quantité de chaleur nécessaire à l'élévation de la température de la poudre de 900°C à la température de frittage. De ce fait, on réduit l'énergie apportée par le laser et on augmente la vitesse de réalisation de l'objet.

De même, en compactant préalablement la couche 14 de poudre
30 céramique, on diminue la porosité de la poudre, ce qui permet d'avoir en début de frittage une porosité résiduelle moins importante, et qui contribue également à augmenter la vitesse de réalisation.

De préférence, le laser utilisé est un laser YAG pulsé, et la longueur d'onde du rayonnement émis se situe dans les infrarouges courts. Plus précisément, le faisceau laser a une longueur d'onde de 1064 nm.

Pour les poudres céramiques qui n'absorbent pas les rayonnements infrarouges, on utilise un dopant, par exemple du silicate de zirconium, afin que le mélange ainsi obtenu absorbe le rayonnement infrarouge émis par le laser.

Sur les figures 2 et 3, on a représenté un dispositif 20 pour la mise en oeuvre d'un procédé de prototypage rapide par frittage laser de poudre céramique. Il est associé à une interface informatique (non représentée) qui permet à partir d'une image en trois dimensions de l'objet à réaliser, de trancher ledit objet en plusieurs couches. Cette interface est susceptible également de piloter les différents éléments du dispositif 20 comme cela va être décrit ci-après.

Le dispositif 20 comprend un bâti 22, placé en dessous d'un laser 24, et une plaque 26 horizontale, disposée en partie supérieure du bâti 22, et dont la surface supérieure 28 définit un plan de travail.

Le laser 24 comprend des moyens 30 de pilotage du tir, asservis à l'interface informatique, qui permettent notamment de diriger le rayon 32.

Ces moyens 30 de pilotage du tir sont connus de l'homme du métier, et ne font en aucun cas partie de la présente demande.

La plaque 26 comprend deux orifices cylindriques 34, 36 qui sont prolongés sous la plaque 26 par un premier cylindre 38 et un second cylindre 40 dont les diamètres intérieurs sont égaux à ceux des orifices 34, 36. Chaque cylindre est fixé grâce à une collerette 42 à la face inférieure de la plaque 26 par des moyens de fixation non représentés, des vis par exemple.

Le premier cylindre 38, prolongé par l'orifice 34, est appelé cylindre de travail. Il est placé en dessous du rayon 32 du laser, et son extrémité supérieure, qui affleure au plan de travail 28, définit une cible 43 pour ledit rayon. En complément, le second cylindre 40, prolongé par l'orifice 36, et disposé à proximité du premier 38, sert de réservoir de matière première en poudre céramique.

Des pistons 44, 46 sont prévus pour être déplacés en translation respectivement dans les cylindres 38, 40. Chaque piston 44, 46 est fixé à l'extrémité supérieure d'une bielle 48, dont l'extrémité inférieure est fixée à un bras 50 lié à des moyens 52 et 54 de pilotage des pistons 44, 46
5 respectivement. Ces moyens 52 et 54 de pilotage, réalisés par exemple par un moteur pas à pas, sont asservis à l'interface informatique qui commande la montée ou la descente desdits pistons.

Des moyens 56 de mesure de la hauteur réelle de la surface supérieure du piston 44 sont prévus, pour compenser les dispersions dimensionnelles
10 engendrées par les liaisons mécaniques et/ou les déformations par dilatation des différents éléments, afin d'obtenir une précision dimensionnelle de l'ordre de $\pm 50 \mu\text{m}$. Ces moyens 56 de mesure sont réalisés par une règle 58 à lecture optique, verticale, fixée au bâti 22, à proximité du cylindre 38 de travail.

Au-dessus de la plaque 26, une enceinte 60 thermiquement isolante
15 permet de délimiter avec la plaque 26 une cellule 62 haute température. La plaque 26 est reliée au bâti 22 par des moyens 64 de liaison isolants qui permettent de limiter la propagation des déformations dues aux dilatations de la plaque 26 vers le bâti 22. Selon un mode de réalisation préférentiel, ces
20 moyens 64 de liaison isolants comportent d'une part des billes 66 disposées en partie supérieure du bâti 22, sur lesquelles la plaque 26 repose, et d'autre part des pions 68, fixés sur les côtés de la plaque 26, qui reposent dans des logements 70 du bâti 22 visibles sur la figure 3.

En complément, une couche 72 de matériau isolant est disposée sous la plaque 26 afin de rendre la cellule 62 haute température le plus adiabatique
25 possible.

D'autre part, des moyens 74 de chauffage, réalisés par une résistance, sont disposés à l'intérieur de la cellule 62, afin de chauffer l'atmosphère de la cellule à une température de l'ordre de 900°C . En complément, des moyens
30 76 de contrôle de la température, réalisés par un thermocouple, permettent de réguler la température à l'intérieur de la cellule.

Un hublot 78, de diamètre sensiblement égal au cylindre 38 de travail, est ménagé dans l'enceinte 60 thermiquement isolante au droit du rayon 32 et

du cylindre 38 de travail. Ce hublot 78 qui est thermiquement isolant, comprend des moyens 80 de filtrage, qui laissent passer les rayonnements infrarouges courts du laser vers le cylindre 38 de travail, mais qui filtrent les rayonnements émis par le corps noir que constitue la cellule 62 haute température, vers le laser 24. Ces moyens 80 de filtrage permettent de limiter l'échauffement de la tête du laser 24 lors de son fonctionnement. Ils sont réalisés par deux lentilles 82 superposées, susceptibles de résister aux températures élevées, disposées dans un support 84 de lentilles.

Sur le plan de travail 28, des moyens 86 de mise en couche et des moyens 88 de compactage peuvent se translater dans la direction définie par la droite reliant les centres des cylindres 38, 40.

Les moyens 86 de mise en couche, réalisés par une raclette 90, permettent de transférer la poudre céramique du réservoir 40 vers le cylindre de travail 38, afin de disposer la poudre sous forme de couches 92 successives d'égales épaisseurs dans le cylindre de travail 38.

Les moyens 88 de compactage, réalisés par un rouleau 94 de compactage, permettent de compacter la poudre de la couche 92 avant son frittage.

Deux biellettes 96, disposées à chaque extrémité du rouleau 94, permettent de relier la raclette 90 au rouleau 94 de compactage qui est fixé à un bras 98 lié à des moyens 100 de pilotage des moyens 86 de mise en couche et 88 de compactage. Ces moyens 100 de pilotage, réalisés par exemple par un moteur pas à pas, sont également asservis à l'interface informatique qui gère en même temps que les déplacements des pistons 44, 46, les déplacements de la raclette 90 et du rouleau 94 comme cela sera expliqué ultérieurement.

Une cavité 102 est également ménagée sur le plan de travail 28 à côté de l'orifice 34, diamétralement opposée à l'orifice 36. Cette cavité est susceptible de recevoir le surplus de poudre lorsque la raclette 90 transfère la poudre du réservoir 40 vers le cylindre de travail 38.

Le fonctionnement est maintenant décrit au regard des figures 4A à 4E.

Sur la figure 4A, on a représenté de façon schématique le dispositif à la phase 0 du procédé. Lors de cette phase, le piston 44 du cylindre de travail descend de 200 μm , alors que le piston 46 du réservoir 40 monte de 200 μm afin de placer un volume 104 de poudre céramique au-dessus du plan de travail 28.

Lors de la phase 1, représentée sur la figure 4B, la raclette 90 pousse le volume 104 de poudre céramique, et l'étale uniformément sous forme d'une couche 106 dans le cylindre 38 de travail. Le volume 104 de poudre doit être suffisant pour éviter le manque de poudre dans le cylindre 38 de travail, et pour obtenir une couche 106 qui affleure au plan de travail 28.

Lors de la phase 2, représentée sur la figure 4C, la raclette 90 a fini d'étaler la quantité 104 de poudre, et le rouleau 92 se situe au point A situé à la surface de la couche 106 à proximité d'un premier point de tangence 108 dudit rouleau avec le cylindre 38 de travail. A cet instant, le piston 44 du cylindre 38 de travail remonte de 100 μm si bien qu'une portion de la couche 106 est placée au-dessus du plan de travail. Le rouleau 92 compacte alors une zone 110 de la couche 106 qui s'étend du point A au point B situé à la surface de la couche 106 à proximité d'un second point de tangence 112 dudit rouleau avec le cylindre 38 de travail.

Lors de la phase 3, représentée sur la figure 4D, le piston 44 du cylindre de travail descend de 100 μm , afin d'éviter le compactage des bords du cylindre 38 de travail. Le rouleau 92, ainsi que la raclette 90, reviennent en position initiale illustrée sur la figure 4A.

Lors de la phase 4, représentée sur la figure 4E, la poudre céramique située dans la zone 110 compactée est frittée selon le procédé de l'invention, afin d'obtenir la forme de l'objet. Après le frittage, le piston du cylindre de travail descend de 100 μm , et le piston 46 du réservoir monte de 200 μm , afin de placer un nouveau volume 104' de poudre céramique au-dessus du plan de travail 28 et d'enchaîner sur la phase 1.

Ainsi, les phases 1, 2, 3, et 4 sont répétées pour chaque nouvelle couche jusqu'à l'obtention de l'objet souhaité. Durant toutes ces phases, les moyens 74 de chauffage maintiennent la cellule 62 à une température de

l'ordre de 900°C. Ainsi, la poudre frittée est déjà à une température de l'ordre de 900°C, ce qui permet de limiter la quantité d'énergie nécessaire pour le frittage et d'augmenter la vitesse de réalisation de l'objet.

5 Le procédé de l'invention et le dispositif associé ont été décrits pour la réalisation de pièces à partir de poudres céramiques, mais on peut envisager exactement de la même façon, par simple adaptation des différents paramètres, leur utilisation pour l'obtention de pièces à partir de poudres de matériaux quelconques, et notamment de poudres métalliques.

RE V E N D I C A T I O N S

1. Procédé de prototypage rapide par frittage en phase solide, à l'aide d'un laser, d'une poudre ou d'un mélange de poudres, notamment céramique, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes qui consistent à :

5 1/ obtenir une succession de sections (10) superposées numérisées d'un objet (12) à réaliser, à partir d'une représentation en trois dimensions dudit objet,

2/ étaler sous forme d'une fine couche (14) la poudre ou le mélange de poudres chauffé à une température proche de la température de frittage en phase solide de ladite poudre ou dudit mélange de poudres,

10 3/ Porter la couche (14) à la température de frittage en balayant à l'aide d'un faisceau laser (16) ladite couche de telle manière qu'une partie (18) sélectionnée de la poudre, qui correspond à une des sections (10') numérisées de l'objet (12) à réaliser, est frittée en phase solide grâce à l'apport complémentaire d'énergie du laser,

15 les étapes 2 et 3 étant répétées jusqu'à l'obtention de toutes les sections superposées numérisées de l'objet à réaliser.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes qui consistent à :

20 1/ obtenir une succession de sections (10) superposées numérisées d'un objet (12) à réaliser, à partir d'une représentation en trois dimensions dudit objet,

2/ étaler sous forme d'une fine couche (14) la poudre ou le mélange de poudres chauffé à une température proche de la température de frittage en phase solide de ladite poudre ou dudit mélange de poudres,

25 3/ augmenter la densité de la poudre de la couche (14),

4/ Porter la couche (14) à la température de frittage en balayant à l'aide d'un faisceau laser (16) ladite couche de telle manière qu'une partie (18) sélectionnée de la poudre, qui correspond à une des sections (10') numérisées

de l'objet (12) à réaliser, est frittée en phase solide grâce à l'apport complémentaire d'énergie du laser,

les étapes 2, 3 et 4 étant répétées jusqu'à l'obtention de toutes les sections superposées numérisées de l'objet à réaliser.

5 3. Procédé selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que la poudre ou le mélange de poudres est chauffé et maintenu à une température de l'ordre de 300°C à 900°C.

4. Procédé selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que la couche (14) est compactée mécaniquement afin d'augmenter sa densité.

10 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le laser utilisé est un laser YAG pulsé, et que la longueur d'onde du rayonnement émis se situe dans les infrarouges courts.

6. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend un laser (24) 15 équipé de moyens (30) de pilotage du tir asservis à une interface informatique, une cellule (62) haute température, munie de moyens (74) de chauffage et d'une cible (43) pour un faisceau (32) du laser (24), et des moyens (86) de mise en couche, disposés dans ladite cellule (62), susceptibles de disposer sur la cible (43) une couche (92) de poudre.

20 7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens (88) de compactage, disposés dans la cellule (62) haute température, susceptibles de compacter la couche (92) avant frittage.

8. Dispositif selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que la cellule (62) est délimitée en partie inférieure par une plaque (26) horizontale 25 qui comprend deux orifices (34, 36), prolongés en dessous de la plaque (26) par un premier et un second cylindres (38, 40), dans chacun desquels peut se translater un piston (44, 46), le premier cylindre (38), disposé en prolongement du faisceau (34), constituant la cible (43), et le second (40), disposé à proximité du premier, constituant un réservoir de matière première 30 en poudre, et en ce que les moyens (86) de mise en couche sont susceptibles de transférer la poudre du second cylindre vers le premier, afin de la disposer

sous forme d'une couche (92), les moyens (88) de compactage étant susceptibles de compacter ladite couche (92).

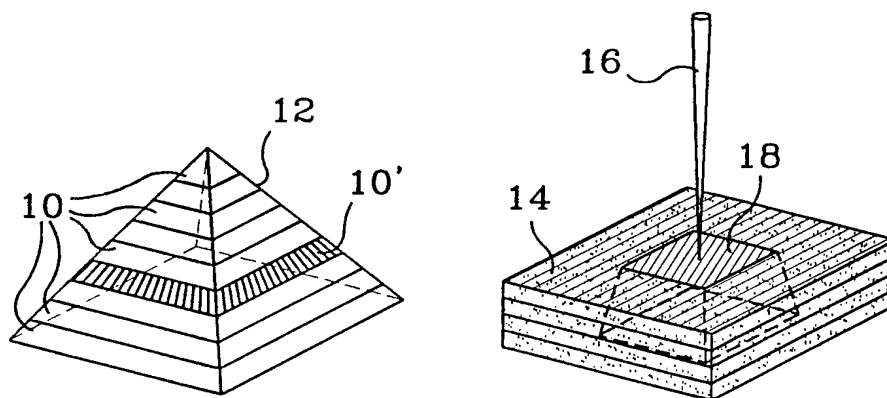
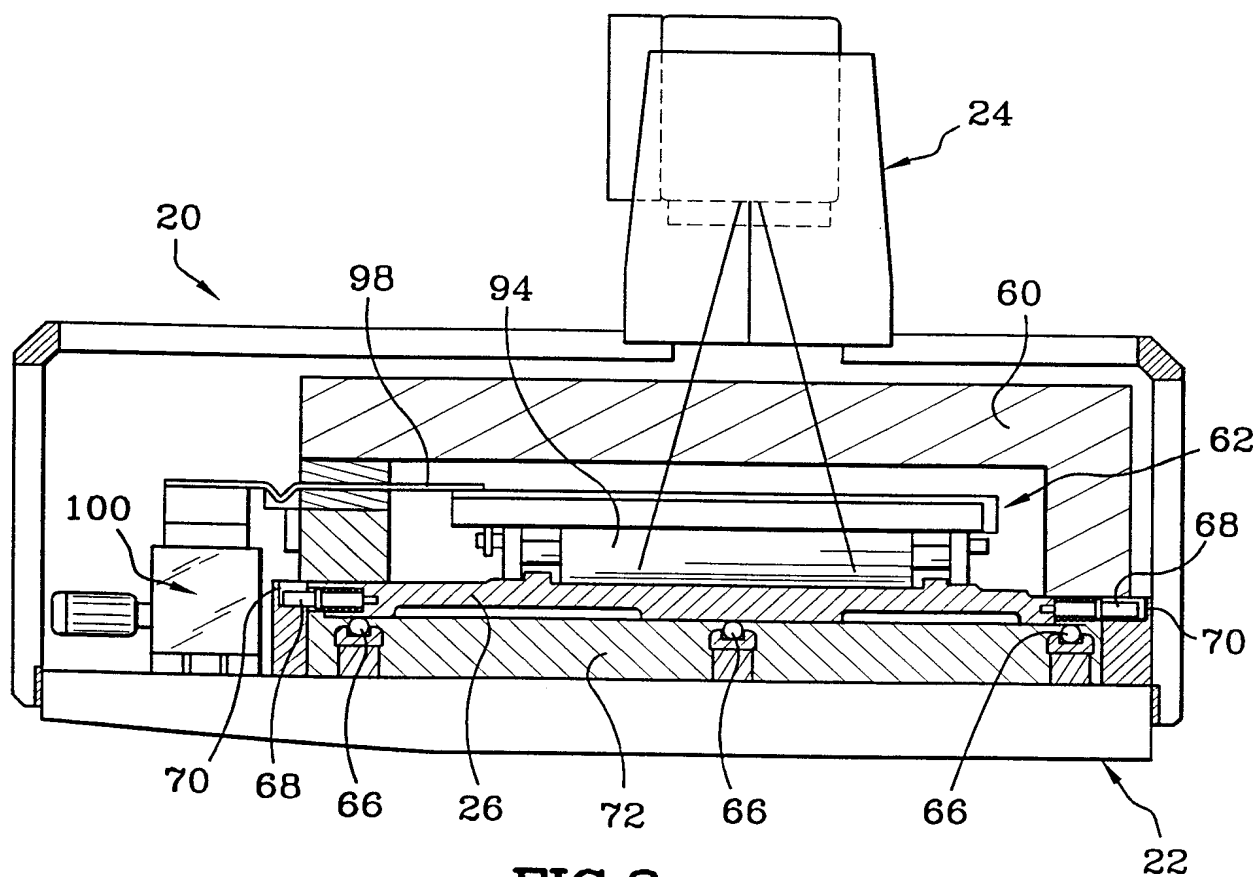
9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que les deux pistons (44, 46) sont équipés respectivement de moyens (52, 54) de pilotage, asservis à l'interface informatique.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que la cellule (62) haute température est délimitée en partie supérieure par une enceinte (60) thermiquement isolante qui comprend un hublot (78), dans le prolongement du faisceau (32) du laser, équipé de moyens (80) de filtrage réalisés par au moins une lentille (82), qui laissent passer les rayonnements infrarouges courts du laser vers l'intérieur de la cellule (62) mais qui filtrent les rayonnements émis par le corps noir que constitue la cellule (62), vers le laser.

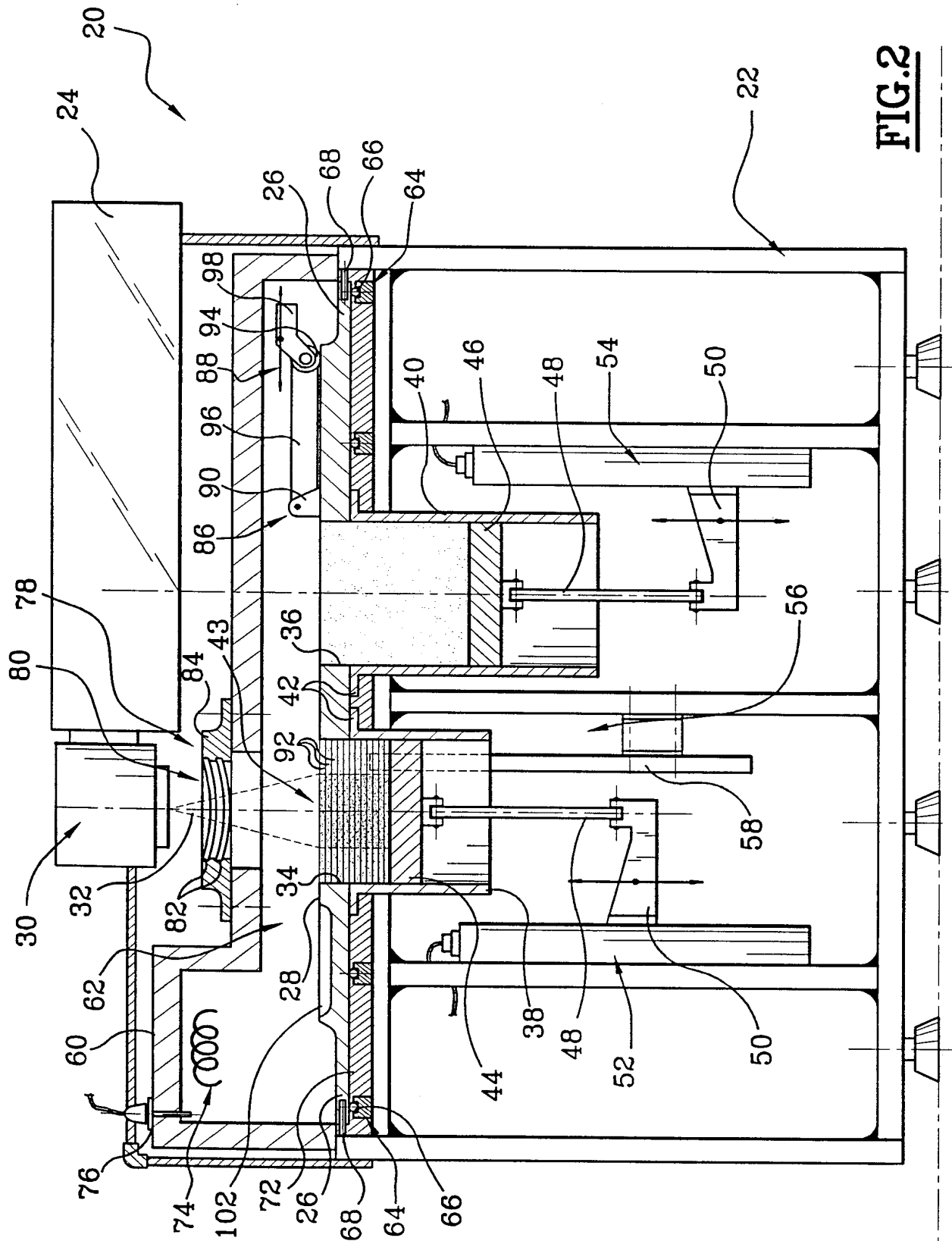
11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens (56) de la mesure de la hauteur réelle du piston (44), disposés dans le premier cylindre (38).

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 11, caractérisé en ce que les moyens (88) de compactage sont réalisés par un rouleau (94), et les moyens (86) de mise en couche par une raclette (90), liée audit rouleau (94), les deux moyens (86, 88) étant commandés par des moyens (100) de pilotage asservis à l'interface informatique.

1/4

**FIG. 1****FIG. 3**

2 / 4



3/4

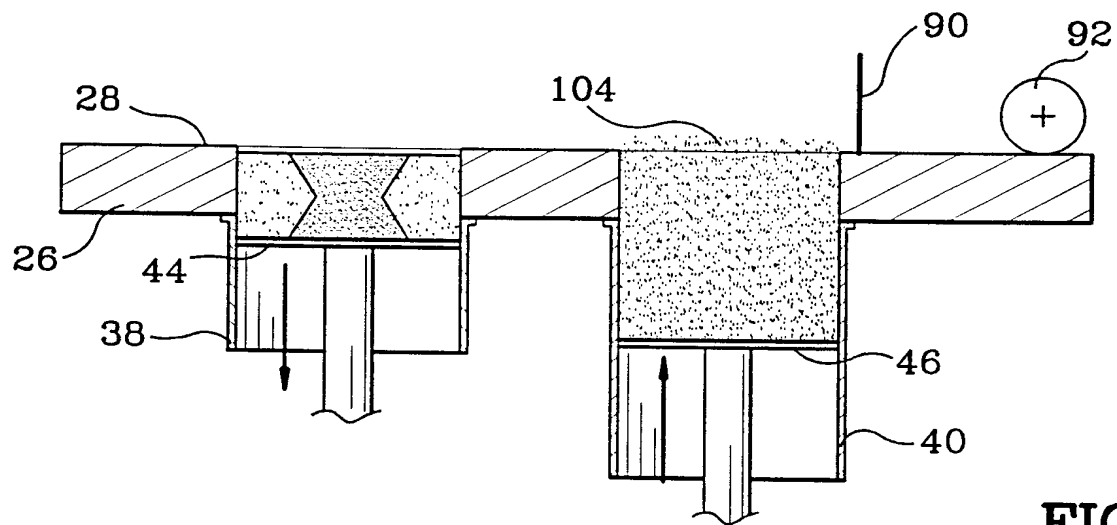


FIG.4A

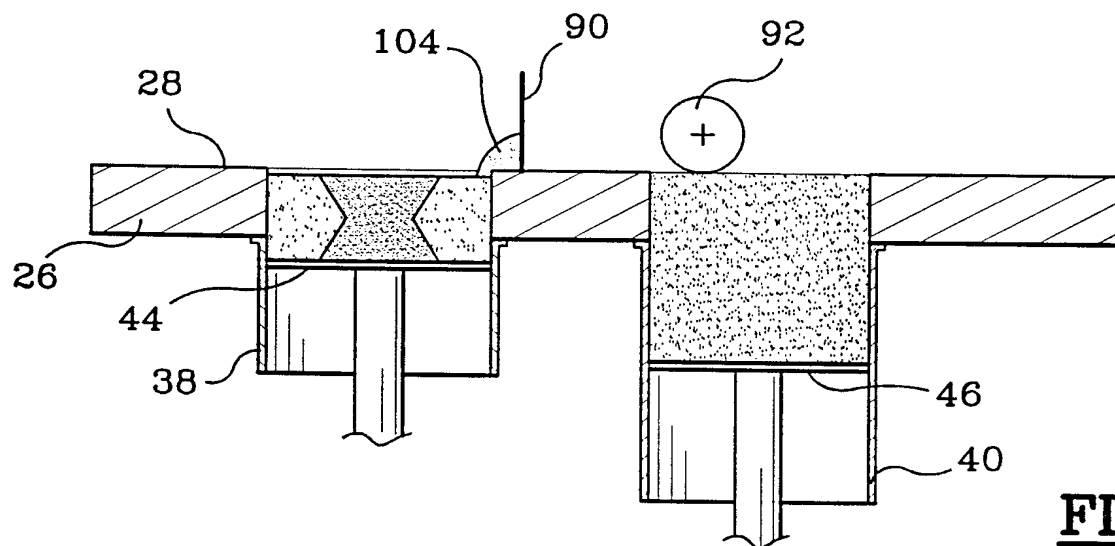


FIG.4B

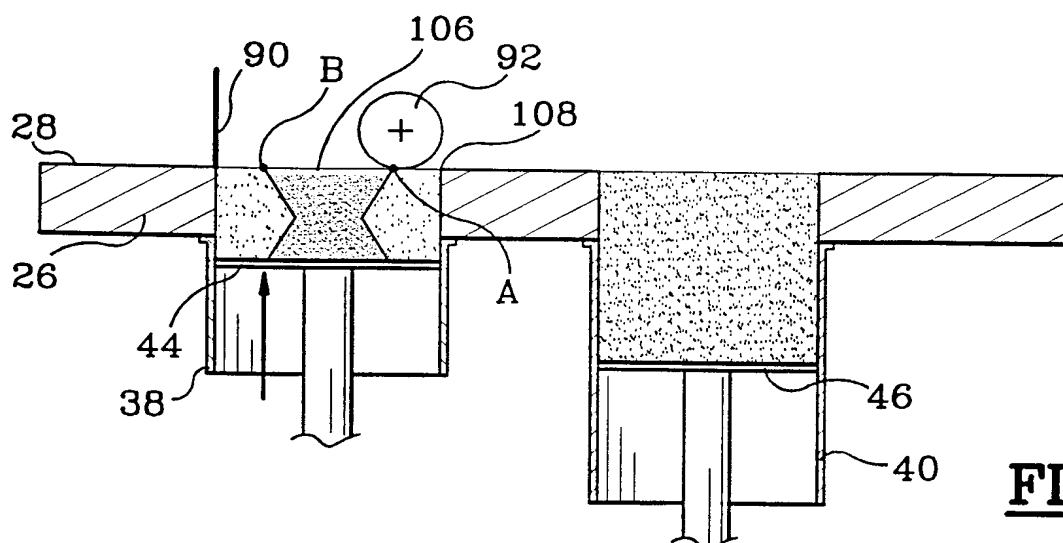
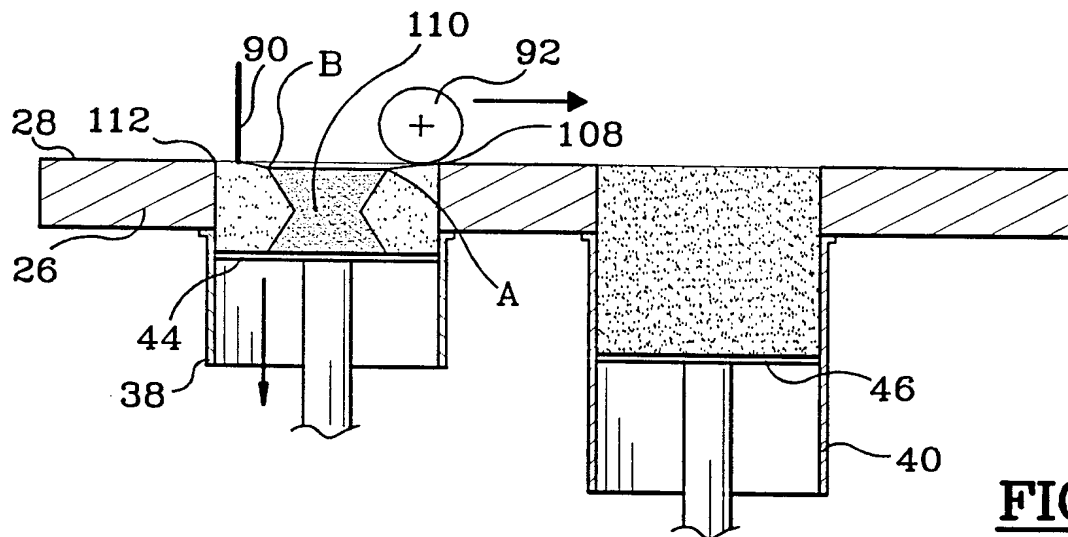
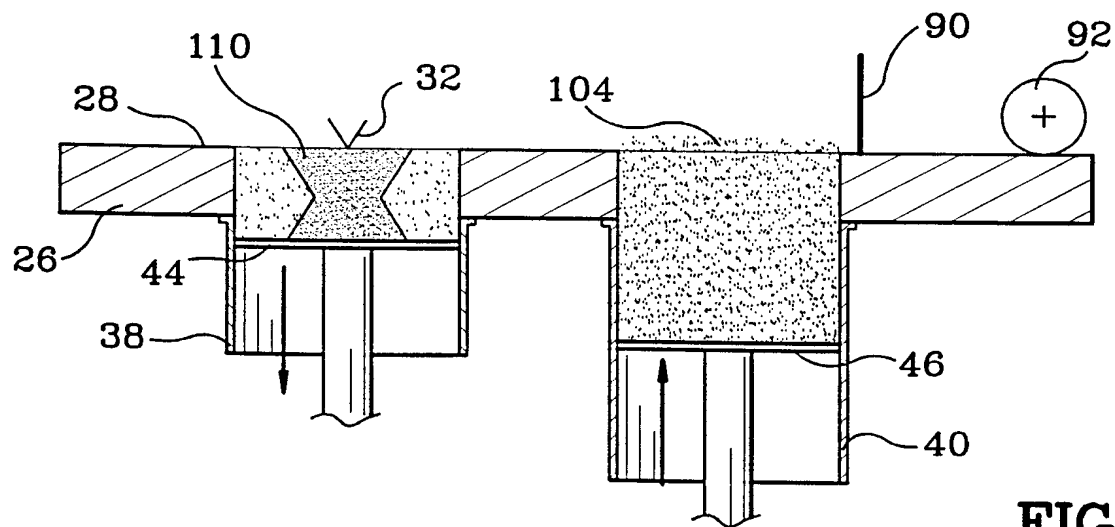


FIG.4C

4 / 4

**FIG. 4D****FIG. 4E**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 99/00357

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 C04B35/64 C04B41/00 B23K26/00 B22F3/105

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 C04B B23K B22F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 382 308 A (THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEMS) 17 January 1995 see column 5, line 6 - column 6, line 38 see column 7, line 8 - column 8, line 4 see claim 1; figures 1,2,4,5	1-5
Y	---	6-12
Y	US 5 252 264 A (DTM CORPORATION) 12 October 1993 see column 2, line 40 - column 4, line 57; figures 1-13	6-12
A	---	1-12
	DE 195 14 740 C (EOS GMBH) 11 April 1996 see claims 16-19; figures 1-5	

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 June 1999

Date of mailing of the international search report

14/06/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Luethe, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/FR 99/00357

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5382308 A	17-01-1995	US 5296062 A	22-03-1994
		US 5076869 A	31-12-1991
		US 4944817 A	31-07-1990
		US 4863538 A	05-09-1989
		US 5431967 A	11-07-1995
		US 5284695 A	08-02-1994
		US 5156697 A	20-10-1992
		US 5182170 A	26-01-1993
		AT 155381 T	15-08-1997
		AT 160960 T	15-12-1997
		AU 643700 B	25-11-1993
		AU 6206590 A	14-03-1991
		CA 2024592 A	06-03-1991
		DE 9018138 U	08-02-1996
		DE 69031061 D	21-08-1997
		DE 69031061 T	30-10-1997
		DE 69031808 D	22-01-1998
		DE 69031808 T	02-04-1998
		EP 0416852 A	13-03-1991
		EP 0714725 A	05-06-1996
		ES 2104588 T	16-10-1997
		ES 2111408 T	01-03-1998
		JP 3183530 A	09-08-1991
		US 5147587 A	15-09-1992
		AT 116179 T	15-01-1995
		AT 138294 T	15-06-1996
		AT 138293 T	15-06-1996
		AU 603412 B	15-11-1990
		AU 1046688 A	06-05-1988
		AU 659289 B	11-05-1995
		AU 3524193 A	13-05-1993
		AU 632195 B	17-12-1992
		AU 6834690 A	14-03-1991
		BG 47343 A	15-06-1990
		CA 1284868 A	18-06-1991
		DE 3750931 D	09-02-1995
		DE 3750931 T	11-05-1995
		DE 3751818 D	27-06-1996
		DE 3751818 T	26-09-1996
		DE 3751819 D	27-06-1996
		DE 3751819 T	26-09-1996
		DE 8718128 U	01-02-1996
		DE 287657 T	18-08-1994
		DK 329888 A	15-08-1988
		EP 0287657 A	26-10-1988
		EP 0542729 A	19-05-1993
		EP 0538244 A	21-04-1993
		FI 882881 A,B	16-06-1988
		HK 194796 A	01-11-1996
		HK 205796 A	22-11-1996
US 5252264 A	12-10-1993	AU 3129893 A	07-06-1993
		CA 2123105 A	13-05-1993
		DE 9218911 U	22-02-1996
		EP 0610442 A	17-08-1994
		JP 7501019 T	02-02-1995
		MX 9206368 A	01-05-1993
		WO 9308928 A	13-05-1993

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 99/00357

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19514740 C	11-04-1996	DE 59600002 D	03-07-1997
		EP 0738584 A	23-10-1996
		JP 8294785 A	12-11-1996
		US 5730925 A	24-03-1998

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dem > Internationale No

PCT/FR 99/00357

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 6 C04B35/64 C04B41/00 B23K26/00 B22F3/105

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 C04B B23K B22F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 5 382 308 A (THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEMS) 17 janvier 1995 voir colonne 5, ligne 6 - colonne 6, ligne 38 voir colonne 7, ligne 8 - colonne 8, ligne 4 voir revendication 1; figures 1,2,4,5	1-5
Y	---	6-12
Y	US 5 252 264 A (DTM CORPORATION) 12 octobre 1993 voir colonne 2, ligne 40 - colonne 4, ligne 57; figures 1-13 ---	6-12
A	DE 195 14 740 C (EOS GMBH) 11 avril 1996 voir revendications 16-19; figures 1-5 -----	1-12

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

3 juin 1999

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

14/06/1999

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Luethe, H

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dem. e Internationale No

PCT/FR 99/00357

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5382308 A	17-01-1995	US 5296062 A	22-03-1994
		US 5076869 A	31-12-1991
		US 4944817 A	31-07-1990
		US 4863538 A	05-09-1989
		US 5431967 A	11-07-1995
		US 5284695 A	08-02-1994
		US 5156697 A	20-10-1992
		US 5182170 A	26-01-1993
		AT 155381 T	15-08-1997
		AT 160960 T	15-12-1997
		AU 643700 B	25-11-1993
		AU 6206590 A	14-03-1991
		CA 2024592 A	06-03-1991
		DE 9018138 U	08-02-1996
		DE 69031061 D	21-08-1997
		DE 69031061 T	30-10-1997
		DE 69031808 D	22-01-1998
		DE 69031808 T	02-04-1998
		EP 0416852 A	13-03-1991
		EP 0714725 A	05-06-1996
		ES 2104588 T	16-10-1997
		ES 2111408 T	01-03-1998
		JP 3183530 A	09-08-1991
		US 5147587 A	15-09-1992
		AT 116179 T	15-01-1995
		AT 138294 T	15-06-1996
		AT 138293 T	15-06-1996
		AU 603412 B	15-11-1990
		AU 1046688 A	06-05-1988
		AU 659289 B	11-05-1995
		AU 3524193 A	13-05-1993
		AU 632195 B	17-12-1992
		AU 6834690 A	14-03-1991
		BG 47343 A	15-06-1990
		CA 1284868 A	18-06-1991
		DE 3750931 D	09-02-1995
		DE 3750931 T	11-05-1995
		DE 3751818 D	27-06-1996
		DE 3751818 T	26-09-1996
		DE 3751819 D	27-06-1996
		DE 3751819 T	26-09-1996
		DE 8718128 U	01-02-1996
		DE 287657 T	18-08-1994
		DK 329888 A	15-08-1988
		EP 0287657 A	26-10-1988
		EP 0542729 A	19-05-1993
		EP 0538244 A	21-04-1993
		FI 882881 A,B	16-06-1988
		HK 194796 A	01-11-1996
		HK 205796 A	22-11-1996
US 5252264 A	12-10-1993	AU 3129893 A	07-06-1993
		CA 2123105 A	13-05-1993
		DE 9218911 U	22-02-1996
		EP 0610442 A	17-08-1994
		JP 7501019 T	02-02-1995
		MX 9206368 A	01-05-1993
		WO 9308928 A	13-05-1993

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dem 3 Internationale No

PCT/FR 99/00357

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 19514740 C	11-04-1996	DE 59600002 D	03-07-1997
		EP 0738584 A	23-10-1996
		JP 8294785 A	12-11-1996
		US 5730925 A	24-03-1998
